



Avaliação da Consistência entre Dados *in Situ* e Satelitais para o Monitoramento da Superfície do Mar em Estações Maregráficas de Monitoramento Contínuo

Evaluation of the Consistency between In Situ and Satellite Data for Sea Surface Monitoring at Continuous Tide Gauge Stations

Larissa Messias de Souza ¹ e Regiane Dalazoana ²

¹ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: larissamessias@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-1131>

² Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. E-mail: regiane@ufpr.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0679>

Recebido: 11.2025 | Aceito: 01.2026

Resumo: A altimetria por satélite tem revolucionado o monitoramento das variações das altitudes da superfície do mar (do inglês, *Sea Surface Height* - SSH), permitindo análises de dinâmicas oceânicas e Topografia do Nível Médio do mar (TNMM) em escalas globais e regionais. Este estudo investiga as variações de SSH utilizando dados das missões CryoSat-2 (CS2), Sentinel-6A (S6A) e *Surface Water and Ocean Topography* (SWOT), em uma série temporal de aproximadamente 10 anos (2014-2024), comparando-as com observações maregráficas da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) nas estações EMFOR (Fortaleza), EMSAL (Salvador), EMMAC (Macaé) e EMIMB (Imbituba). Foi utilizada uma abordagem absoluta, com extrapolação espacial para harmonizar dados *in situ* e satelitais. Os resultados revelam boa concordância entre as medições altimétricas e maregráficas, com resíduos compatíveis às incertezas instrumentais (ordem de centímetros). A estação maregráfica de Salvador apresentou os menores resíduos, $0,01 \pm 0,04$ m, evidenciando a alta precisão da missão SWOT, que mostrou a melhor concordância com os dados maregráficos. As estimativas da TNMM também exibiram dispersões de apenas alguns centímetros, confirmando a elevada sensibilidade e eficácia das missões altimétricas no monitoramento das dinâmicas oceânicas locais.

Palavras-chave: Altimetria por satélites. Maregrafia. Altitude da superfície do mar. Topografia do nível médio do mar.

Abstract: Satellite altimetry has revolutionized the monitoring of sea surface height (SSH) variations, enabling analyses of ocean dynamics and mean dynamic topography (MDT) at global and regional scales. This study investigates SSH variations using data from the CryoSat-2 (CS2), Sentinel-6A (S6A), and Surface Water and Ocean Topography (SWOT) missions over a time series of approximately 10 years (2014–2024), comparing them with tide gauge observations from the Permanent Tide Gauge Network for Geodesy at the EMFOR (Fortaleza), EMSAL (Salvador), EMMAC (Macaé), and EMIMB (Imbituba) stations. An absolute approach with spatial extrapolation was employed to harmonize *in situ* and satellite data. The results show good agreement between altimetric and tide gauge measurements, with residuals consistent with instrumental uncertainties (on the order of centimeters). The Salvador tide gauge station exhibited the smallest residuals (0.01 ± 0.04 m), highlighting the high precision of the SWOT mission, which showed the best agreement with tide gauge data. Estimates of MDT also showed dispersions of only a few centimeters, confirming the high sensitivity and effectiveness of altimetric missions in monitoring local ocean dynamics.

Keywords: Satellite altimetry; Tide gauges; Sea surface height; Mean dynamic topography .

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas cinco décadas, as tecnologias de observação da Terra por meio de satélites têm desempenhado um papel crucial na compreensão e modelagem do planeta, fornecendo dados essenciais para análises ambientais e geofísicas (Fu e Cazenave, 2001; Stammer e Cazenave, 2017). Dentre essas tecnologias, a altimetria por satélite (ALTSAT) destaca-se como uma ferramenta eficaz para medir altitudes de superfície em relação a um elipsoide de referência, tanto sobre os oceanos quanto em superfícies terrestres.

Essa técnica permite o cálculo de anomalias de gravidade marinha em escala global, incluindo a altitude da superfície do mar (*Sea Surface Height* - SSH, na sigla em inglês) (Jiang, Nielsen e Andersen, 2023), o Nível Médio do Mar (NMM) e a Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM), ou seja, a discrepância entre o geóide e o NMM (Hwang et al., 2002; Escudier et al., 2017). Essas medições são fundamentais para elucidar dinâmicas oceânicas, variações climáticas e processos geodinâmicos, com aplicações em modelagem global e regional.

A evolução da ALTSAT reflete avanços significativos em precisão, resolução e cobertura, desde as missões iniciais como Seasat (1978) e Geosat (1985), que estabeleceram as bases para observações globais de SSH, até as gerações modernas que incorporam instrumentação avançada para superar limitações em regiões costeiras e polares. Nesse contexto, a missão CryoSat-2, lançada em 2010 pela Agência Espacial Europeia, do inglês, *European Space Agency* (ESA), introduziu o altímetro de radar de abertura sintética interferométrica, do inglês, *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (SARIn), otimizando medições de SSH em áreas de alta variabilidade, como margens continentais e gelo marinho (Srinivasan e Tsontos, 2023). Posteriormente, a Sentinel-6A, lançada em 2020 como parte do programa Copernicus da ESA e da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço, do inglês, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), aprimorou a série de referência Jason com maior resolução vertical (até 2-3 cm) e estabilidade orbital, facilitando o monitoramento contínuo de variações oceânicas e tendências de elevação do nível do mar (Donlon et al., 2021).

Mais recentemente, a missão *Surface Water and Ocean Topography* (SWOT), lançada em dezembro de 2022 pela NASA e pelo *Centre national d'études spatiales* (CNES), representa um marco ao empregar interferometria de radar em banda K (*Ka-band Radar Interferometer* – KaRIn, do inglês), capaz de analisar estruturas oceânicas em escalas de 15-25 km, expandindo o potencial para mapeamento da TNMM e SSH (Morrow et al., 2019).

Nas zonas de transição entre o continente e o oceano, incluindo costas continentais e ilhas isoladas, as flutuações na altitude da superfície do mar são avaliadas mediante observações ancoradas em marcos terrestres fixos, geralmente obtidas por meio de marégrafos, os quais registram o nível do mar em posições específicas. Essas medições *in situ* atuam como uma base independente para a verificação de dados provenientes da altimetria satelital, apesar de dependerem de premissas quanto à imobilidade vertical da litosfera e de um *datum* vertical convencional (Mitchum, 1994).

Todavia, as análises comparativas entre registros maregráficos e altimétricos deparam-se com obstáculos, uma vez que esses conjuntos de dados não adotam o mesmo marco de referência vertical e são coletados em sítios não sobrepostos, o que requer técnicas de interpolação para harmonização espacial (Liebsch et al., 2002). Essas comparações podem ser realizadas sob modalidades relativa ou absoluta: na perspectiva relativa, a ênfase recai sobre a identificação compartilhada de padrões oceânicos, dispensando a padronização a um referencial vertical comum, abordagem especialmente vantajosa em locais desprovidos de estações do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) de operação ininterrupta nas proximidades (Giehl, 2020; Montecino et al., 2017). Por outro lado, na modalidade absoluta, os dados são vinculados ao centro de massa terrestre, ou seja, ao mesmo referencial geodésico, possibilitando avaliações da estabilidade satelital e variações absolutas no nível de elevação, condicionado à presença de estações GNSS com conexão aos marégrafos (Liebsch et al., 2002; Acuña e Bosch, 2003; Dalazoana, 2006; da Silva e de Freitas, 2014; Mitchum, 1998).

No contexto brasileiro, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) foi posicionada de modo estratégico, com estações adjacentes às estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), promovendo níveis de referência absolutos e otimizando a fusão de observações terrestres com dados orbitais, permitindo uma comparação entre as técnicas de maregrafia e altimetria por satélites (Giehl, Dalazoana e Santana, 2022).

Estudos prévios têm demonstrado a viabilidade de comparações entre dados altimétricos e maregráficos. Por exemplo, Liebsch et al. (2002) analisaram altitudes da superfície do mar por meio de altimetria multimissão e observações de marégrafos na região sul do Mar Báltico. Da mesma forma, Giehl, Dalazoana e Santana (2022) conduziram uma comparação absoluta entre dados do satélite Sentinel-3A e marégrafos da RMPG nas estações de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana. Ademais, Pandžić et al. (2024) realizaram uma revisão abrangente sobre as contribuições da altimetria satelital e da

maregrafia para a avaliação de tendências no nível do mar no Mar Adriático, inserindo-as em contextos mediterrâneo e global.

Este estudo teve como objetivos principais realizar análises absolutas das variações das altitudes da superfície do mar por meio das missões CryoSat-2, Sentinel-6A e SWOT, analisando uma série temporal de aproximadamente 10 anos (de 2014 a 2024, ajustada à disponibilidade de dados), com ênfase na derivação de produtos de SSH de alta resolução. Ademais, compara-se esses dados satelitais com observações de nível do mar (NM) das estações da RMPG, especificamente EMFOR (Fortaleza), EMSAL (Salvador), EMMAC (Macaé) e EMIMB (Imbituba), uma vez que, as mesmas apresentam uma distribuição geográfica variada da costa brasileira, para validar estimativas regionais e quantificar discrepâncias em escalas costeira e oceânica, empregando a extrapolação dos dados. Por fim, explora-se a TNMM derivada dessas missões, avaliando sua capacidade para mapear gradientes dinâmicos na costa brasileira e contribuir para o refinamento de modelos oceanográficos locais.

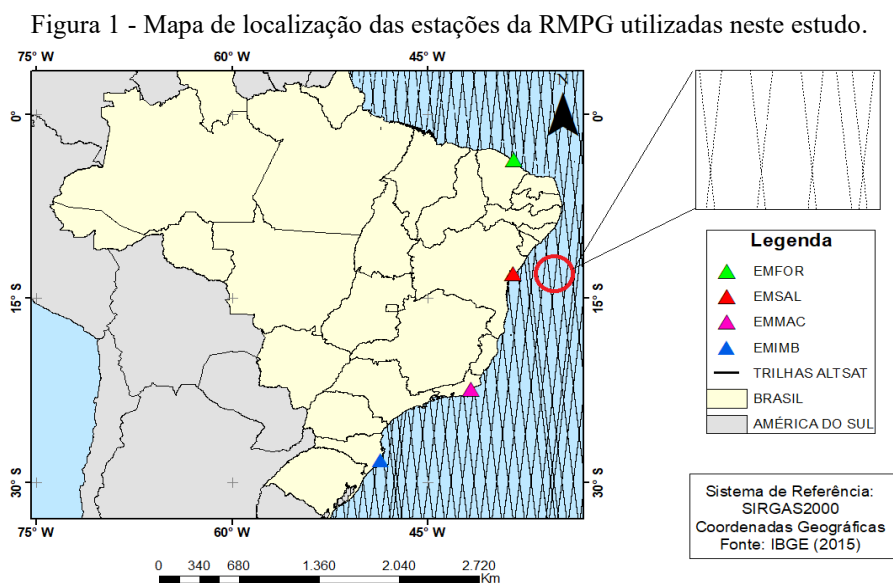
2 METODOLOGIA

Nos tópicos a seguir, serão detalhados os métodos empregados na condução deste estudo, incluindo o procedimento para a determinação das SSH utilizando técnicas de ALTSAT. Serão também apresentadas análises de diferentes missões altimétricas, bem como a comparação dos valores de SSH estimados a partir de observações maregráficas e da determinação da TNMM obtida por meio dessas distintas missões.

2.1 Área de Estudo

No presente estudo, foram utilizados dados maregráficos provenientes das estações EMFOR, EMSAL, EMMAC e EMIMB, todas integrantes da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) e gerenciadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Figura 1). A seleção dessas estações teve como objetivo garantir uma distribuição espacial representativa ao longo da costa brasileira, contemplando estações localizadas nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul do litoral nacional.

Na região Sudeste, a escolha da estação EMMAC fundamentou-se em dois critérios principais: (i) a proximidade entre a trilha dos satélites altimétricos e a localização do marégrafo, o que possibilita uma avaliação mais precisa dos dados provenientes da altimetria por satélite (ALTSAT) e sua posterior comparação com as observações maregráficas; e (ii) o fato de a região de Macaé–RJ constituir um importante polo offshore, no qual são realizadas diversas operações de levantamento hidrográfico, configurando-se, portanto, como uma área estratégica com aplicação direta em estudos costeiros.



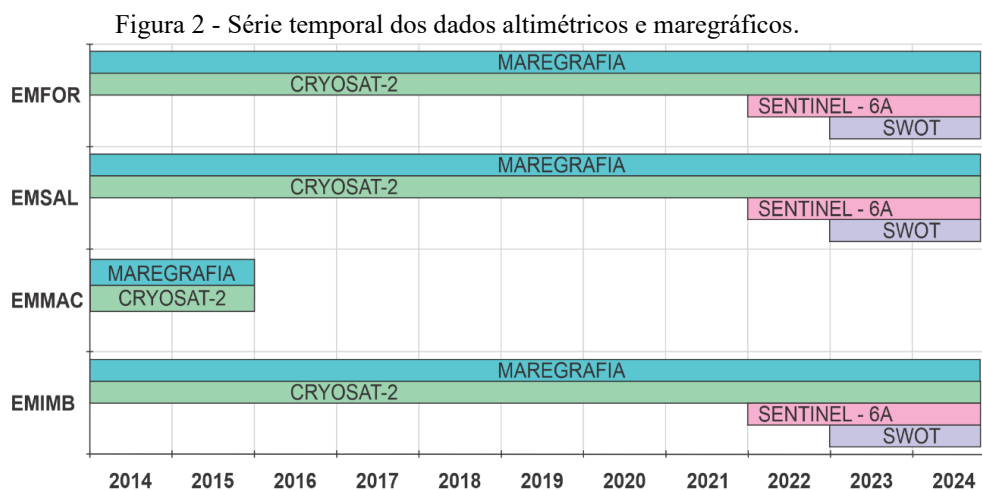
Fonte: Os autores (2025).

2.2 Aquisição dos dados de Altimetria por Satélites (ALTSAT)

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados de altimetria provenientes das missões Sentinel-6A (S6A), CryoSat-2 (CS2) e SWOT. Esses dados foram obtidos por meio do serviço *Copernicus Marine and Environment Monitoring Service* (CMEMS). A série temporal considerada para cada missão variou de acordo com sua disponibilidade: a missão S6A compreende o período de abril de 2022 a outubro de 2024; a missão CS2 abrangeu de janeiro de 2014 a outubro de 2024; e a missão SWOT possui dados disponíveis entre novembro de 2023 e outubro de 2024.

As diferenças na extensão temporal dos dados refletem a ordem de lançamento das missões. A missão CS2 foi a primeira a ser lançada, seguida pelas missões S6A e SWOT. Por essa razão, o conjunto de dados da missão CS2 apresenta maior abrangência temporal, sendo mais apropriado para análises de séries temporais extensas.

Em virtude dessa maior cobertura, somente os dados da missão CS2 foram utilizados nas análises referentes à Estação Maregráfica de Macaé (EMMAC), cuja operação foi encerrada em dezembro de 2015. Considerando esse período, as missões S6A e SWOT não oferecem cobertura temporal adequada, inviabilizando sua utilização nesse recorte de tempo (janeiro de 2014 a dezembro de 2015), conforme ilustra a Figura 2.



Foram analisadas as seguintes variáveis altimétricas: altitude da superfície do mar (SSH_{ALT}), ou seja, a relação entre o NMM e o elipsoide de referência; e a anomalia do nível do mar, do inglês, *Sea Level Anomaly* (SLA_{ALT}), em que corresponde a separação entre a superfície instantânea e a superfície média do mar. Esses dados foram processados e disponibilizados pelo CMEMS, com taxa de amostragem de 1 Hz e resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, correspondendo a uma resolução de aproximadamente 7 km ao longo das órbitas dos satélites.

As variáveis analisadas foram fornecidas no formato criptografado *.nc* (*Network Common Data Form - NetCDF*). Para a leitura, extração das variáveis (SSH_{ALT} e SLA_{ALT}) e exportação das coordenadas geográficas no sistema de referência SIRGAS 2000, foi utilizado o *software Broadview Radar Altimeter Toolbox* (BRAT GUI), versão 4.2.1, com exportação dos dados em formato ASCII.

Os dados altimétricos foram previamente corrigidos e disponibilizados pelo CMEMS, com o objetivo de minimizar os efeitos atmosféricos (ionosfera, troposfera seca e úmida) e geofísicos (marés terrestres, oceânicas, polares, cargas oceânicas e variações no estado do mar). Essas correções, em conjunto com os ajustes orbitais, asseguram a fidedignidade dos dados e permitem comparações entre diferentes missões, reduzindo a influência de erros sistemáticos. Informações detalhadas sobre o processo de correção dos produtos altimétricos podem ser encontrados no documento de informação de qualidade¹. Adicionalmente, informações sobre os produtos altimétricos, missões envolvidas e formas de acesso aos dados estão disponíveis no portal do serviço Copernicus (CMEMS, 2025).

¹ <https://documentation.marine.copernicus.eu/QUID/CMEMS-SL-QUID-008-032-068.pdf>

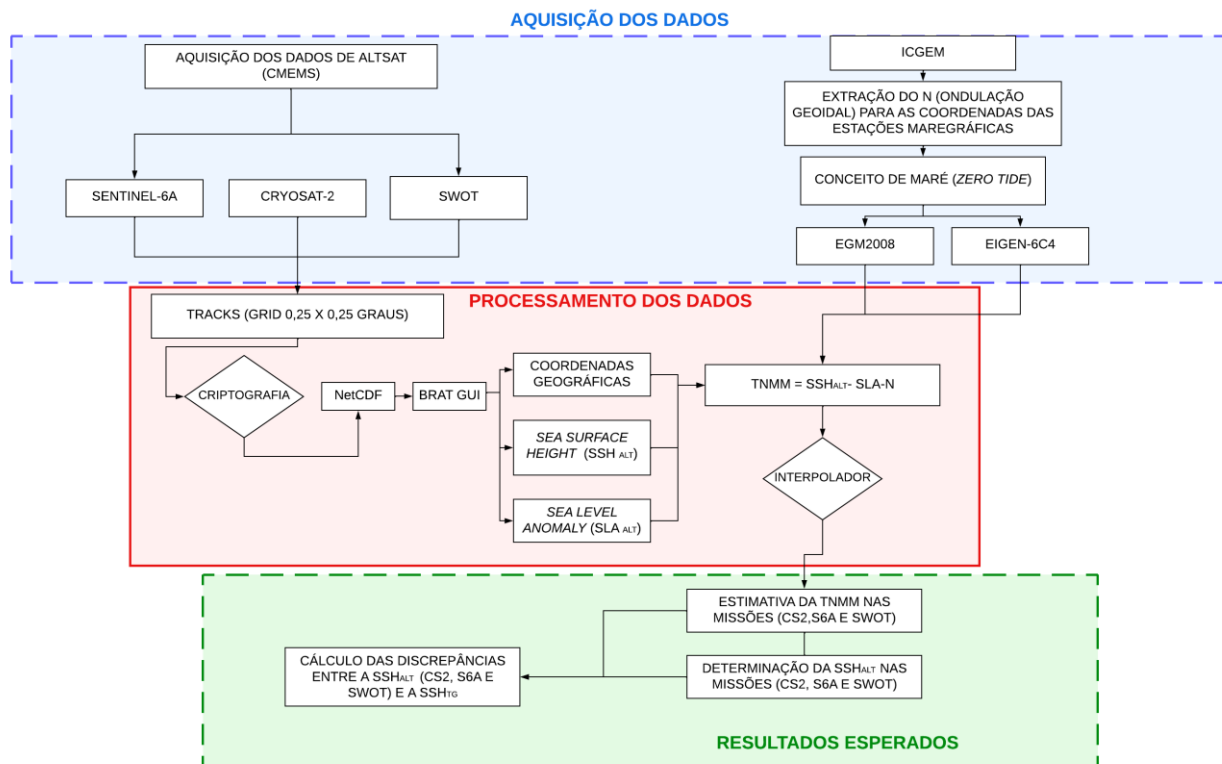
Os valores de SSH foram extraídos das trilhas dos satélites e estimados os seus valores com base na extrapolação dos dados até a região dos marégrafos, extrapolação esta, realizada por meio de um interpolador geoestatístico. Os processos de extrapolação, bem como a estimativa das altitudes da superfície do mar para cada marégrafo, serão melhor detalhados no tópico seguinte. Dessa forma, foram determinadas as SSH e estimada a TNMM para cada marégrafo por meio das missões CS2, S6A e SWOT.

Além disso, com o objetivo de obter os valores da ondulação geoidal (N) para cada estação maregráfica analisada, foi utilizado o serviço de cálculo do *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM) (ICGEM, 2025). Adotou-se o conceito de maré *Zero Tide*, o qual é compatível com os dados altimétricos já corrigidos para os efeitos diretos das marés oceânicas. Foram considerados dois Modelos Globais do Geopotencial (MGG): o EGM2008, utilizado nas missões CS2 e S6A, e o EIGEN-6C4, adotado na missão SWOT.

2.2.1 PROCESSAMENTO DAS VARIÁVEIS ALTIMÉTRICAS DERIVADAS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES (ALTSAT)

A Figura 3 representa o fluxograma metodológico das etapas para determinação da TNMM, SLA_{ALT} e SSH_{ALT} para cada missão e estação maregráfica analisada durante este estudo.

Figura 3 - Fluxograma metodológico das etapas para determinação da TNMM, SSH_{ALT} e SLA_{ALT} por meio de ALTSAT.



Fonte: Os autores (2025).

Os valores de SSH_{ALT} fornecidos por meio do banco de dados da CMEMS, possuem como elipsoide de referência, o elipsoide do *Topex/Poseidon* (T/P). No entanto, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e as informações de SSH oriundas de informações maregráficas, são referenciadas ao elipsoide GRS80. Dessa forma, visando compatibilizar e unificar o sistema de referência, os valores de SSH obtidos por ALTSAT

foram convertidos ao elipsoide GRS80, conforme descreve a fórmula de Renganathan (2010):

$$\delta h = h_1 - h_2 = -((a_2 - a_1)(\cos\Psi)^2 + (b_2 - b_1)(\sin\Psi)^2) \tag{1}$$

Em que, δh corresponde à diferença das altitudes h_1 e h_2 referidas ao elipsoide T/P e GRS80; as variáveis a_1 e a_2 são os semieixos maiores; b_1 e b_2 são os semieixos menores dos elipsoides T/P e GRS80, conforme Quadro 1, e Ψ corresponde à latitude geocêntrica do ponto de interesse. Neste estudo, a discrepância entre o elipsoide de referência T/P e o GRS80 foi significativa e de aproximadamente 64 cm, portanto, tal diferença foi considerada nos cálculos da TNMM.

Quadro 1 – Parâmetros elipsoidais.

Elipsoide	T/P	GRS80
a (m)	6378136,3	6378137,0
b (m)	6356751,600563	6356752,31414

Fonte: Renganathan (2010) e Moritz (2000).

Visando extrapolar os dados de SSH_{ALT} e SLA_{ALT} para a região dos marégrafos, foi necessário estimar as lacunas entre as trilhas dos satélites por meio de um interpolador matemático. Para isto, utilizou-se a Krigagem Universal (KU), uma vez que, considera a variabilidade espacial dos dados. Esse modelo é baseado em variogramas, que quantificam a relação entre a distância e a similaridade dos pontos de dados. Conforme os estudos de Campos (2018), tal metodologia mostrou-se eficiente ao analisar a representação computacional de dados batimétricos provenientes de cartas náuticas na região da Bacia de Potiguar. Através dos resultados pode-se constatar uma melhor representatividade da krigagem em relação aos interpoladores polinômio local, inverso da distância e mínima curvatura utilizados na pesquisa.

Dessa forma, o processo de extrapolação foi realizado por meio da ferramenta de *Geostatistical Analyst* do *software* ArcGis versão 10.8 da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), a ferramenta em questão viabilizou a determinação das altitudes da superfície do mar associadas às coordenadas geográficas de cada estação maregráfica.

Com a padronização de todas as variáveis — incluindo a aplicação das correções necessárias por meio do serviço Copernicus, a extrapolação dos dados e a unificação do elipsoide de referência —, tornou-se possível estabelecer a correspondência entre as diferentes superfícies de referência no âmbito da ALTSAT. Essa etapa foi fundamental para a estimativa das variações da TNMM e da SLA associadas a cada missão altimétrica, conforme descrito na Eq. (2) (GGOS, 2025):

$$TNMM = SSH_{ALT} - SLA_{ALT} - N \tag{2}$$

Onde, a TNMM corresponde a Topografia do Nível Médio do Mar, a SSH_{ALT} refere-se a altitude da superfície do mar, proveniente de cada missão, a SLA_{ALT} corresponde à anomalia da superfície do mar, oriunda de dados altimétricos e N refere-se à Ondulação Geoidal. Por fim, os valores de SSH_{ALT} foram comparados com os dados de altitude da superfície do mar estimados por meio de observações maregráficas (SSH_{TG}), a fim de avaliar as discrepâncias entre as técnicas.

2.3 Aquisição dos dados de maregrafia

Os dados das observações do nível do mar utilizados neste estudo, foram extraídos do banco de dados da RMPG, no portal do IBGE (IBGE, 2025). O estudo engloba as variações maregráficas das estações de Fortaleza, Salvador, Macaé e Imbituba. O período de observações maregráficas compreende uma série temporal de janeiro de 2014 a outubro de 2024. As operações no marégrafo de Macaé foram interrompidas a partir de janeiro de 2015, portanto, para este, os dados se limitam ao período de janeiro a dezembro de 2014.

As medições são disponibilizadas com uma frequência de registro a cada minuto, organizadas em arquivos diários compactados que contêm, internamente, arquivos no formato ".txt". Dessa maneira, o processo de *download* manual torna-se uma tarefa trabalhosa, especialmente ao lidar com séries de dados maregráficos

de longa duração. Por exemplo, para obter dados de um ano inteiro, seria necessário baixar e descompactar 365 arquivos. Os arquivos seguem um padrão de nomeação no formato *xxxaammdd.zip*, onde:

xxx representa o identificador da estação, sendo: MAC para Macaé; IMB para Imbituba; SAL para Salvador; SAN para Santana; FOR para Fortaleza; ARC para Arraial do Cabo; e BEL para Belém; *aa* corresponde ao ano da coleta; *mm* indica o mês da coleta; e *dd* refere-se ao dia da coleta.

Diante disso, para facilitar o pré-processamento, criou-se um *script* no *software* R, visando padronizar o tempo de amostragem dos dados para a cada 5 minutos e unificar todos os arquivos para um único arquivo com dados anuais.

Neste estudo, também foram coletadas as informações sobre as RRNN primárias associadas aos marégrafos em estudo, bem como, as informações das altitudes elipsoidais e normais extraídas do Banco de Dados Geodésicos (BDG) gerenciado pelo IBGE, conforme Quadro 2. Além disso, também serviram de embasamento teórico, os dados dos relatórios de monitoramento das variações do NM nas estações da RMPG.

Todas as informações sobre a aquisição, disponibilidade e processamento de dados maregráficos, podem ser consultados em publicações na plataforma da RMPG².

Quadro 2 – Relação das RRNN e altitudes geométricas e normais utilizadas no estudo.

Estação	RRNN	Altitude geométrica (m)	Altitude normal (m)
Fortaleza	4336A	-5,366	3,671
Salvador	3640A	-8,661	2,411
Macaé	3086U	-3,408	3,388
Imbituba	3012X	3,354	2,045

Fonte: IBGE (2015, 2019, 2023a, 2023b).

2.3.1 PROCESSAMENTO DAS ALTITUDES DA SUPERFÍCIE DO MAR POR MEIO DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS

Embora o IBGE disponibilize um banco de dados com informações sobre o nível d'água de todas as estações que compõem a rede, essa base de dados apresenta lacunas nas medições devido a períodos de inatividade das estações ou falhas nos sensores. Para mitigar esses problemas, foi necessário prever os dados ausentes. Com esse objetivo, utilizou-se *scripts* em *Python* e R para remover *outliers* (regra $\pm 3\sigma$), preencher valores "NaN", filtrar altas frequências e reamostrar os dados, garantindo a compatibilidade temporal com as medições de altimetria por satélite, conforme apresentado por Giehl (2020).

O processo de previsão dos dados faltantes, foi realizado por meio do cálculo das Marés Sintéticas (MSs), derivadas das observações maregráficas de 2014 a 2024 para as estações de EMFOR, EMSAL e EMIMB. A EMMAC apresentou ausência de dados em determinados períodos entre 2014 e 2015, sendo também necessária a realização da previsão dos faltantes.

As MSs correspondem às variações do NM previstas a partir do conhecimento de um conjunto de componentes harmônicas ou constituintes de maré. Estas componentes são calculadas a partir das observações do NM e possibilitam a previsão da maré para um determinado instante de tempo. Desta forma foi possível prever os valores do NM em períodos onde não havia dados maregráficos disponíveis.

As componentes harmônicas descrevem a variação do NM principalmente devido a efeitos astronômicos (causada devido a influência do Sol e da Lua) e de águas rasas. As atrações gravitacionais exercidas pelo Sol e pela Lua atuam sobre as massas de água mais profundas dos oceanos, gerando uma elevação forçada que se propaga em direção às áreas costeiras (Pawlowicz, Beardsley e Lentz, 2002), e a variação das marés nas zonas costeiras é ainda influenciada pela reduzida profundidade da água. O processamento das MSs foi realizado por meio da função *tidem*, instalada no pacote *oce* do R e desenvolvido por Kelley (2018).

O pacote disponibiliza uma gama de funções voltadas à análise de séries temporais do nível do mar, bem como de dados costeiros, topográficos e de propriedades oceanográficas, como a temperatura da água do

² <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?=&t=publicacoes>

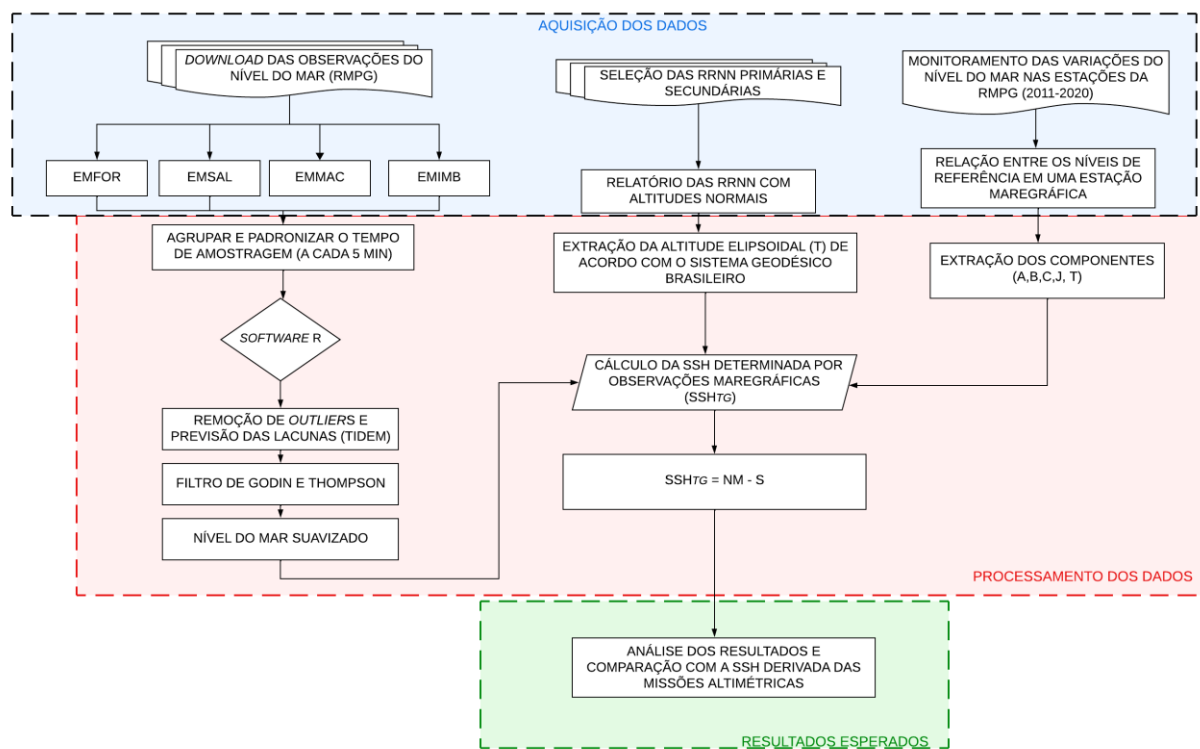
mar. Essa função extrai as componentes seno e cosseno das frequências de maré presentes nas observações maregráficas, permitindo o cálculo da amplitude e da fase dos componentes de maré, o que viabiliza a construção das MSs. Além disso, a função seleciona automaticamente 69 constituintes de marés considerados padrão por Foreman (1977), com base nas faixas de frequência (astronômicas e de águas rasas) e na duração da série temporal analisada.

A análise estatística tem como finalidade evidenciar o comportamento espacial e temporal das séries. Assim, torna-se possível compreender como os fenômenos atmosféricos e oceanográficos se manifestam em cada período analisado e em cada uma das regiões que compõem a área de estudo. Dessa forma, com o objetivo de atenuar as componentes astronômicas e suavizar os valores de nível d'água, foram aplicados os filtros de Thompson e Godin.

O filtro de Thompson, proposto em 1983, permite suavizar as frequências de interesse e otimizar seu desempenho por meio da seleção de parâmetros de cálculo (Thompson, 1983; Costa, 2010). O filtro de Godin (1972), corrige a tendenciosidade dos dados e se baseia na aplicação de três médias móveis. Porém, como desvantagem ele amortece excessivamente as oscilações de frequências inferiores à banda diurna, em cerca de 40% (Costa, 2010).

A Figura 4 representa o fluxograma metodológico das etapas para determinação das (SSH_{TG}) por meio das observações maregráficas, para cada estação analisada durante este estudo.

Figura 4 - Fluxograma metodológico das etapas para determinação da SSH_{TG} por meio de observações maregráficas.



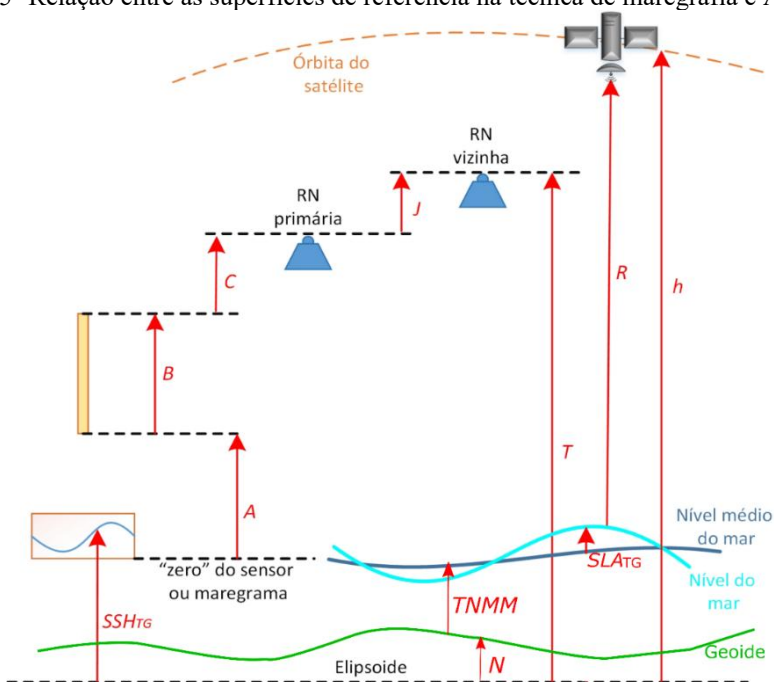
Fonte: Os autores (2025).

Após à aplicação das funções de previsão, remoção dos dados espúrios e suavização das observações do NM, estas foram referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) (elipsoide GRS80 / SIRGAS 2000). Desta forma, os valores de SSH para as estações maregráficas (SSH_{TG}) foram obtidos conforme demonstram as Eq. (3) e (4) e a Figura 5.

$$SSH_{TG} = NM - S \tag{3}$$

$$S = A + B + C + J - T \tag{4}$$

Figura 5- Relação entre as superfícies de referência na técnica de maregrafia e ALTSAT



Fonte: Adaptado de IBGE (2016), Lu, Qu e Qiao (2014) e Giehl, Dalazoana e Santana (2022).

Onde, SSH_{TG} representa a altitude do nível do mar em relação ao elipsoide de referência do SGB, a variável NM corresponde a variação do nível do mar em relação ao zero do sensor / maregrama, A representa o desnível entre os “zeros” dos maregrafos e da régua, resultante da aferição dos sensores (Teste de Van de Castele), B corresponde a leitura nominal do pino/topo da régua, C ao desnível do pino/topo da régua até a referência de nível primária (obtido por meio do nivelamento geométrico da régua), J corresponde aos desníveis entre as referências de nível primária e vizinha, T representa a altitude elipsoidal da referência de nível vizinha, SLA_{TG} é a anomalia do nível do mar, ou seja, a separação entre a superfície instantânea e a superfície média do mar obtida por meio das superfícies de referência no contexto da técnica de maregrafia, R representa a distância entre o satélite e a superfície instantânea do mar, corrigida dos efeitos que afetam essa quantidade, h a altitude do satélite com relação ao elipsoide de referência, N a ondulação geoidal extraída de distintos MGGs, e por fim, a $TNMM$ corresponde a Topografia do Nível Médio do Mar, ou seja, a separação entre o nível instantâneo do mar e o geoide.

A Tabela 1 apresenta os níveis de referência adotados nas estações da RMPG, localizadas nas cidades de Fortaleza, Salvador, Macaé e Imbituba, considerando o conceito de maré média.

Tabela 1 – Detalhamento de cada componente associado aos níveis de referência da RMPG.

Componente	Imbituba (m)	Fortaleza (m)	Salvador (m)	Macaé (m)
A (m)	0,983 ± 0,023	3,257 ± 0,036	5,043 ± 0,066	0,161 ± 0,036
B (m)	2,016 ± 0,001	6,030 ± 0,001	4,015 ± 0,001	3,013 ± 0,001
C (m)	0,488 ± 0,000	0,264 ± 0,000	0,233 ± 0,000	1,498 ± 0,001
J (m)	4,458 ± 0,000	0,057 ± 0,000	0,270 ± 0,000	-0,101 ± 0,001
T (m)	7,788 ± 0,003	-5,480 ± 0,001	-8,449 ± 0,002	-3,556 ± 0,002
S (m)	0,157 ± 0,023	15,088 ± 0,036	18,010 ± 0,066	8,119 ± 0,071

Fonte: IBGE (2015, 2019, 2023a, 2023b).

Por fim, os valores de SSH_{TG} foram comparados com os dados de SSH_{ALT} por meio das missões altimétricas, a fim de avaliar as discrepâncias entre as técnicas. Foram calculadas as médias, os desvios padrão e os coeficientes de correlação entre as variáveis, permitindo uma análise quantitativa da consistência entre os métodos de observação do nível do mar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos a partir da análise absoluta das variações das SSH, com base em dados provenientes de medições maregráficas e altimetria por satélite. Para aprimorar a visualização da variabilidade do parâmetro em estudo, os gráficos serão exibidos em escalas diferenciadas, possibilitando uma interpretação mais detalhada das nuances e tendências observadas. O intervalo temporal abrangido pela análise compreende o período de janeiro de 2014 a outubro de 2024, assegurando uma avaliação abrangente e atualizada dos fenômenos investigados.

As Figuras 6, 7, 8 e 9, representam as variações em metros dos valores de SSH determinados por meio das missões S6A, CS2, SWOT e maregrafia para cada estação maregráfica analisada, todas as superfícies foram convertidas ao elipsoide de referência GRS80, conforme SGB.

A Tabela 2 apresenta as médias das variações das altitudes da superfície do mar obtidas por meio de medições maregráficas (SSH_{TG}) e altimétricas (SSH_{ALT}), bem como os resíduos que representam a discrepância entre os valores de altitude da superfície do mar determinados por satélites altimétricos — especificamente SSH_{CS2} , SSH_{S6A} , SSH_{SWOT} — e os valores obtidos por meio da maregrafia (SSH_{TG}). Adicionalmente, são apresentadas as médias das determinações da TNMM para cada missão altimétrica.

Por fim, são analisadas as correlações entre as duas técnicas, a fim de avaliar a consistência e a relação entre as medições satelitais e maregráficas.

Figura 6 - Variações em metros da SSH por meio das técnicas de ALTSAT e maregrafia (TG) na EMIMB.

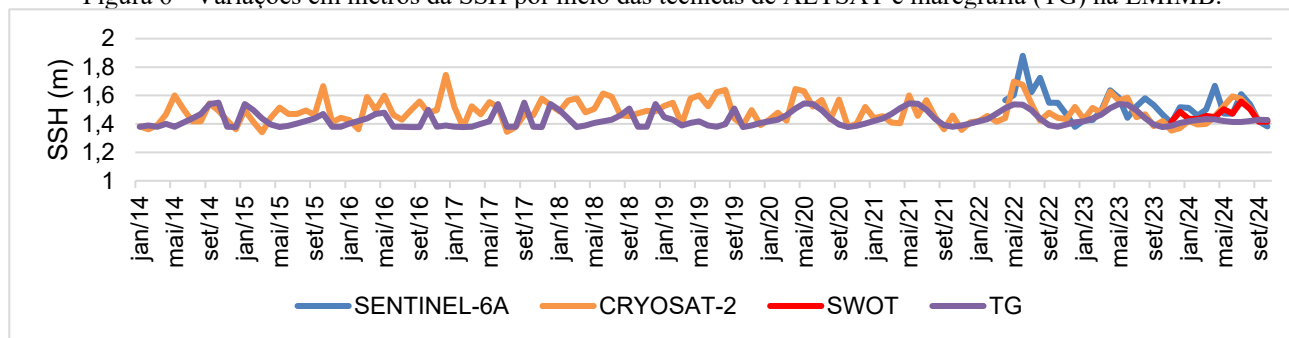


Figura 7 - Variações em metros da SSH por meio das técnicas de ALTSAT e maregrafia (TG) na EMFOR.

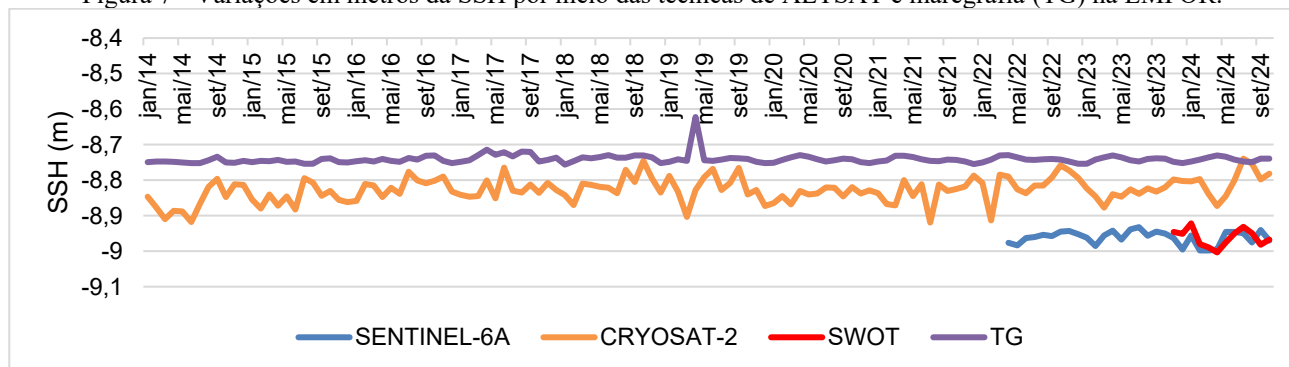
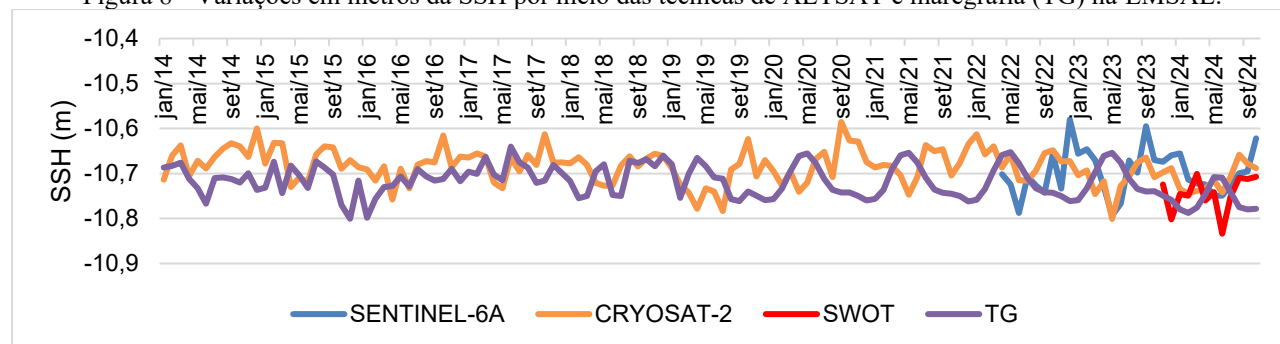
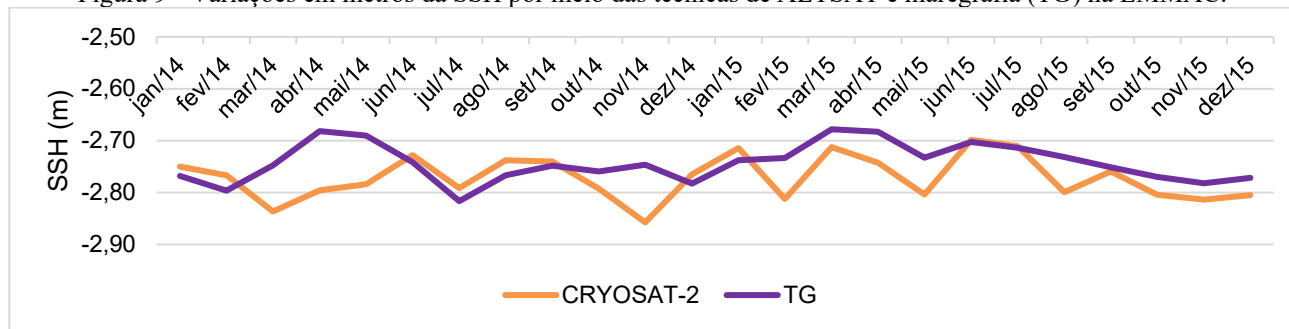


Figura 8 - Variações em metros da SSH por meio das técnicas de ALTSAT e maregrafia (TG) na EMSAL.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 9 - Variações em metros da SSH por meio das técnicas de ALTSAT e maregrafia (TG) na EMMAC.



Fonte: Os autores (2025).

Tabela 2 - Médias das determinações da SSH_{ALT} (m), SSH_{TG} (m), média dos resíduos ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) (m), valores médios das estimativas de $TNMM$ e coeficiente de correlação entre as técnicas.

Estação	Missão Altimétrica	Média SSH_{ALT} (m)	Média SSH_{TG} (m)	Média dos Resíduos ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) (m)	$TNMM_{ALT}$ (m)	Coef. de Correlação	
Imbituba	CryoSat-2	1,48±0,08	1,43± 0,05	0,05 ± 0,08	0,45 ±0,01	0,94	
	SWOT	1,46 ±0,04		0,04± 0,14			0,44±0,02
	Sentinel-6A	1,53±0,11		0,09 ± 0,10			0,45± 0,03
Macaé	CryoSat-2	-2,77± 0,04	-2,74±0,04	-0,03± 0,05	0,24±0,01	0,89	
Salvador	CryoSat-2	-10,69±0,04	-10,72±0,04	0,03±0,06	0,54±0,09	0,90	
	SWOT	-10,74±0,04		0,01±0,04			0,52±0,00
	Sentinel-6A	-10,70±0,05		0,03±0,08			0,53±0,00
Fortaleza	CryoSat-2	-8,83±0,03	-8,74±0,01	-0,18±0,04	0,49±0,02	0,96	
	SWOT	-8,96±0,02		-0,22±0,03			0,47±0,00
	Sentinel-6A	-8,96±0,02		-0,16±0,02			0,48±0,02

Fonte: Os autores (2025).

Conforme ilustrado na Figura 6 e detalhado na Tabela 2, as variações das SSH obtidas pelas missões altimétricas SSH_{CS2} , SSH_{SWOT} e SSH_{S6A} na estação de Imbituba apresentaram médias próximas ao longo dos anos, com valores de $1,48 \pm 0,08$ m, $1,46 \pm 0,04$ m e $1,53 \pm 0,11$ m, respectivamente. Essa proximidade é evidenciada no gráfico, onde as variações de SSH das missões CS2 e SWOT diferem em apenas 2 cm em valores absolutos. Embora a missão SWOT tenha apresentado resíduos com maior variabilidade (14 cm de desvio padrão), as diferenças com relação aos dados maregráficos é menor quando comparada com as outras duas missões da ALTSAT. A SSH_{SWOT} apresentou menor incerteza, aproximadamente 4 cm em torno da média. A média da SSH obtida por meio da maregrafia (SSH_{TG}) em Imbituba foi de 1,43 m, com variabilidade em torno da média de 5 cm.

Na estação maregráfica de Fortaleza, conforme a Figura 7 e Tabela 2, os valores médios das missões SSH_{CS2} , SSH_{SWOT} e SSH_{S6A} foram, respectivamente, $-8,83 \pm 0,03$ m, $-8,96 \pm 0,02$ m e $-8,96 \pm 0,02$ m. Observa-se que as variações de SSH para as missões SWOT e S6A foram constantes, e a diferença entre a média analisada na missão CS2 foi de 13 cm, sendo esta maior do que os valores encontrados em Imbituba. A variação da SSH_{TG} foi de $-8,741 \pm 0,01$ m. Das quatro estações maregráficas analisadas, a de Fortaleza foi a que apresentou os maiores valores de resíduos, observa-se valores decimétricos para os resíduos enquanto as outras estações apresentam valores de grandeza centimétrica.

Em Salvador, os valores médios das altitudes da superfície do mar para as missões SSH_{CS2} , SSH_{SWOT} e SSH_{S6A} foram, respectivamente, $-10,69 \pm 0,04$ m, $-10,74 \pm 0,04$ m e $-10,70 \pm 0,05$ m. Conforme observado na Figura 8, houve pouca variabilidade entre as missões. A média da SSH_{TG} em Salvador foi de $-10,718$ m, com variabilidade em torno da média de ± 4 cm. Destaca-se que a missão CryoSat-2 e SWOT apresentaram as menores incertezas, com aproximadamente ± 4 cm. Resultados recentes sobre a determinação da SSH por ALTSAT corroboram esses achados, como no estudo de Giehl, Dalazoana e Santana (2022), que reportaram um valor de SSH médio $-10,93$ m para a missão Sentinel-3A no período de novembro de 2017 a abril de 2020.

Na estação maregráfica de Macaé cujos serviços foram descontinuados em 2015, a comparação foi possível apenas com a missão CS2, a qual foi lançada antes das demais missões analisadas. Conforme os resultados expressos na Figura 9 e Tabela 2, a variação média da SSH_{CS2} foi de $-2,772 \pm 0,04$ m, enquanto a média obtida pela técnica maregráfica foi de $-2,74 \pm 0,04$ m.

Segundo Dalazoana (2006), as variações temporais e espaciais do NMM, e consequentemente da SSH e do TNMM, são decorrentes da dinâmica oceânica e dos movimentos verticais da crosta terrestre. As variações temporais resultam de alterações na pressão atmosférica, temperatura, entre outros fatores, enquanto as variações espaciais são causadas por correntes oceânicas, variações na densidade e temperatura da água, conforme destacado por Sánchez (2020, p. 85). Em consonância, a Tabela 2 apresenta as variações do TNMM estimadas por meio das missões altimétricas para cada estação, evidenciando que as incertezas ou dispersões em torno da média situam-se na ordem de centímetros em todas as estações analisadas.

Adicionalmente, observa-se que na estação de Salvador as variações do TNMM obtidas pelas missões SWOT e S6A foram, respectivamente, $0,52 \pm 0,0003$ m e $0,53 \pm 0,0034$ m, apresentando menores desvios em comparação às demais estações estudadas.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 apresentam as variações espaço-temporais dos resíduos, ou seja, as discrepâncias entre os dados de maregrafia e ALTSAT. Especificamente, são exibidas as diferenças $SSH_{CS2} - SSH_{TG}$, $SSH_{S6A} - SSH_{TG}$, $SSH_{SWOT} - SSH_{TG}$, determinadas pelas missões CS2, S6A e SWOT, respectivamente, para cada estação maregráfica considerada no estudo.

Figura 10 - Variações espaço-temporais dos resíduos entre os dados de altimetria por satélites e maregrafia ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) na EMIMB.

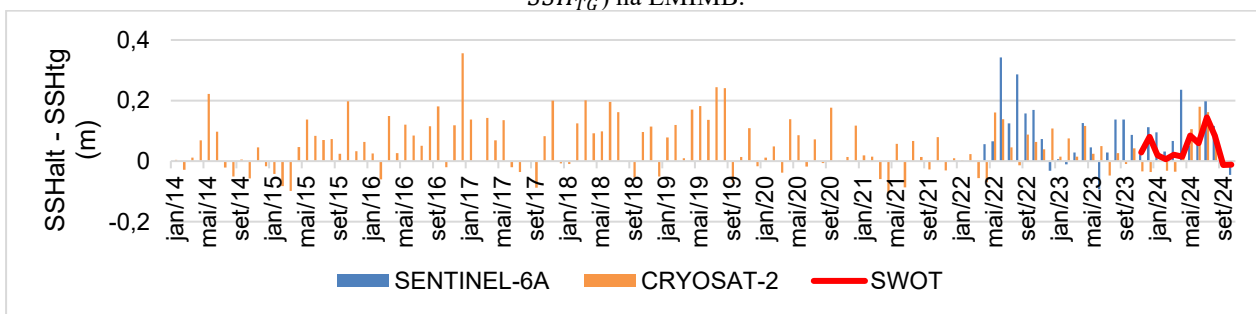


Figura 11 - Variações espaço-temporais dos resíduos entre os dados de altimetria por satélites e maregrafia ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) na EMFOR.

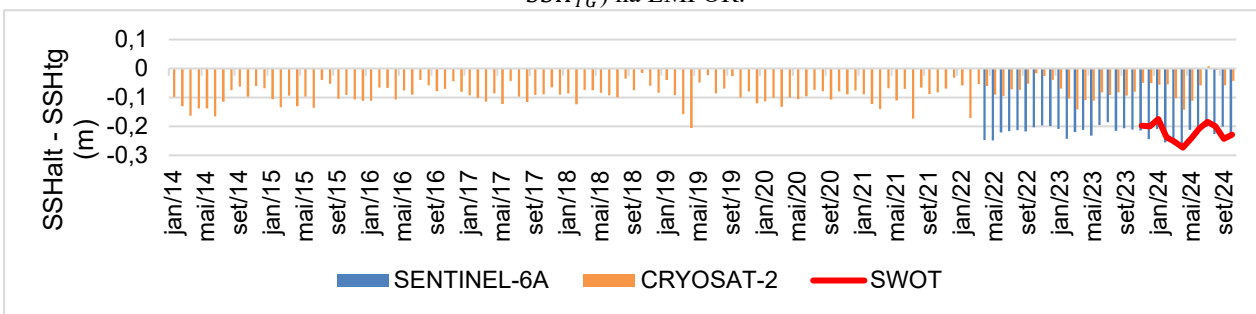
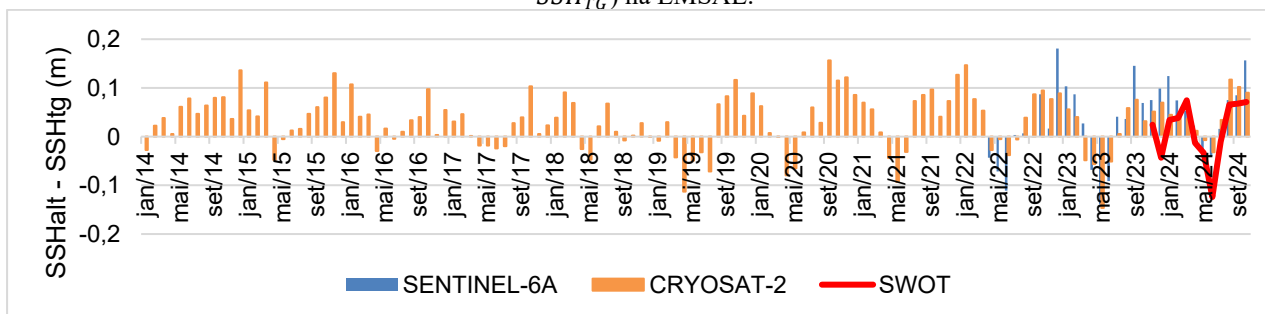
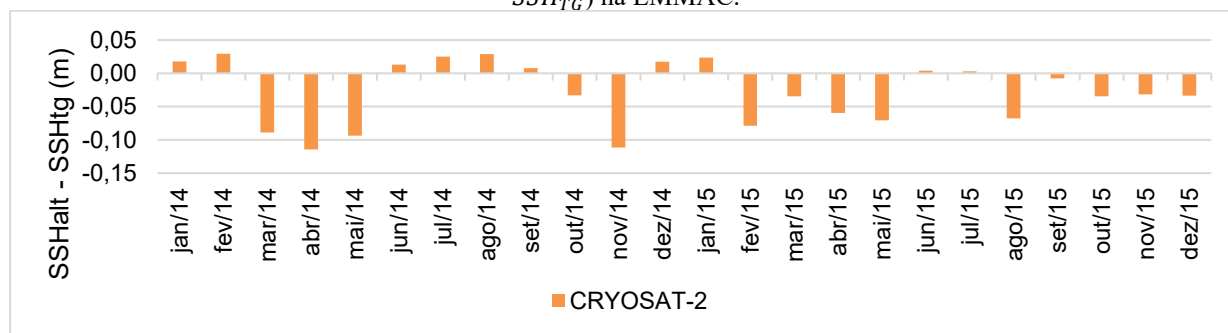


Figura 12 - Variações espaço-temporais dos resíduos entre os dados de altimetria por satélites e maregrafia ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) na EMSAL.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 13 - Variações espaço-temporais dos resíduos entre os dados da missão CryoSat-2 e maregrafia ($SSH_{ALT} - SSH_{TG}$) na EMMAC.



Fonte: Os autores (2025).

Na estação EMIMB, a análise comparativa da SSH revelou que a missão SWOT apresentou a menor discrepância em relação aos dados de maregrafia. Conforme detalhado na Figura 10 e Tabela 1, os resíduos observados para as diferentes missões foram de: $0,05 \pm 0,08$ m, $0,04 \pm 0,14$ m e $0,09 \pm 0,10$ m para as $SSH_{CS2} - SSH_{TG}$, $SSH_{SWOT} - SSH_{TG}$ e $SSH_{S6A} - SSH_{TG}$, respectivamente. Este resultado demonstra que a discrepância da missão SWOT em relação à maregrafia foi de apenas 4 cm, indicando uma maior precisão na estimativa da SSH.

A EMFOR foi a estação que apresentou os valores residuais mais elevados, ao serem comparados com as demais estações. De acordo com a Figura 11 e Tabela 1, as discrepâncias foram de: $-0,18 \pm 0,04$ m, $-0,22 \pm 0,03$ m e $-0,16 \pm 0,02$ m para $SSH_{CS2} - SSH_{TG}$, $SSH_{SWOT} - SSH_{TG}$ e $SSH_{S6A} - SSH_{TG}$, respectivamente. Tal resultado, mostrou-se coerente com os encontrados no estudo de Giehl, Santana e Dalazoana (2022), em que obtiveram um resíduo de 25 cm na mesma estação analisada, ao comparar dados do Sentinel-3A e maregrafia.

Tais discrepâncias mais acentuadas na região nordeste, explicitadas por meio da EMFOR, podem estar relacionadas com as amplitudes de maré mais elevadas na região, já ao sul do país, os valores de amplitudes de marés são menores, justificando os resultados residuais encontrados na EMIMB.

Por sua vez, a EMSAL apresentou os melhores resultados em termos de médias e dispersões, com valores de $0,03 \pm 0,06$ m, $0,01 \pm 0,04$ m e $0,03 \pm 0,08$ m para as diferenças $SSH_{CS2} - SSH_{TG}$, $SSH_{SWOT} - SSH_{TG}$, $SSH_{S6A} - SSH_{TG}$, respectivamente. Já na EMMAC, conforme Figura 13 e Tabela 1, o valor residual para $SSH_{CS2} - SSH_{TG}$ foi de $-0,03 \pm 0,05$ m.

Quanto aos coeficientes de correlação, todas as estações apresentaram correlações classificadas como fortes a muito fortes, conforme a escala proposta por Shimakura (2006), ao comparar os dados altimétricos obtidos pela ALTSAT. Entretanto, a estação de Macaé apresentou a menor correlação, com valor de 0,89 (correlação forte), resultado possivelmente associado à ausência de dados a partir de 2015, o que reduziu o conjunto de dados disponível para análise.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que as medições altimétricas das missões CS2, SWOT e S6A demonstram boa concordância com os dados maregráficos nas estações analisadas, evidenciando a robustez e a confiabilidade das técnicas para a determinação da altitude da superfície do mar (SSH) ao longo do período estudado (2014–2024). As discrepâncias entre as técnicas, expressas pelas médias dos resíduos, situam-se em níveis compatíveis com as incertezas inerentes aos métodos, sendo mais acentuadas na estação de Fortaleza. A estação com a menor disponibilidade de dados é a de Macaé, desta forma, a descontinuidade dos serviços maregráficos pode ter impactado no coeficiente de correlação entre as séries temporais.

A estação maregráfica de Salvador (EMSAL) destacou-se por apresentar os menores resíduos de comparação, com a missão SWOT demonstrando a melhor concordância com os dados de maregrafia. Este último fato também ocorreu na estação de Imbituba e traz indícios da potencialidade dos dados derivados desta missão, apesar de sua ainda curta série temporal. Adicionalmente, as variações da TNMM foram estimadas com precisão na ordem de centímetros, reforçando a sensibilidade e a eficácia das missões altimétricas em capturar e monitorar as dinâmicas oceânicas locais.

Os coeficientes de correlação, classificados entre fortes e muito fortes (Shimakura, 2006), confirmam a consistência entre os dados altimétricos e maregráficos. Este resultado valida a integração dessas metodologias como uma abordagem robusta para o monitoramento do nível do mar. Para estudos futuros, recomenda-se determinar a TNMM utilizando a maregrafia e, posteriormente, comparar os resultados com modelos globais de referência, como o DTU22MDT e o CNES-CLS22, que são modelos gerados a partir da integração de dados multimissões.

Referências

- Acuña, G., & Bosch, W. (2003). Absolute comparison of satellite altimetry and tide gauge registrations in Venezuela. In *Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography: Proceedings of the International Workshop on Satellite Altimetry, a joint workshop of IAG Section III Special Study Group SSG3. 186 and IAG Section II, September 8–13, 2002, Wuhan, China* (pp. 261–269). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Campos, P. H. P. (2018). *Análise estatística de métodos de interpolação espacial e técnicas de sensoriamento remoto usando imagem de satélite na caracterização batimétrica da Bacia Potiguar* [Dissertação de Mestrado, Universidade federal do Rio Grande do Norte].
- Costa, M. C. (2010). *Influência das tensões do vento na variação do nível médio do mar da região costeira de Cananéia (SP): filtragem numérica e análise espectral* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI].
- CMEMS. (2025). *About producers*. Acessado em 25 out. 2025, de <https://marine.copernicus.eu/about/producers>
- Dalazoana, R. (2006). *Estudos dirigidos à análise temporal do datum vertical brasileiro* [Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná].
- Da Silva, L. M., & De Freitas, S. R. C. (2014). Análise da variação temporal do nível médio do mar nas estações da RMPG. *Simpósio SIRGAS*, La Paz, Bolívia, 24–26 nov.
- Donlon, C., et al. (2021). Copernicus Sentinel-6 Michael Freilich satellite mission: Overview and preliminary in orbit results. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 7732–7735). IEEE.
- Escudier, P., Couhert, A., Mercier, F., Mallet, A., Thibaut, P., Tran, N., Amarouche, L., Picard, B., Carrere, L., Dibarboure, G., Ablain, M., Richard, J., Steunou, N., Dubois, P., Rio, M.-H., & Dorandeu, J. (2017). Satellite radar altimetry: Principle, accuracy, and precision. In D. Stammer & A. Cazenave (Eds.), *Satellite altimetry over oceans and land surfaces (Earth observation of global changes)* (Cap. 1). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Foreman, M. G. G. (1977). *Manual for tidal heights analysis and prediction*. Sidney: Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay.
- Fu, L. L., & Cazenave, A. (Eds.). (2000). *Satellite altimetry and earth sciences: A handbook of techniques and applications*. Elsevier.
- GGOS. (2025). *Sea surface heights*. Acessado em 25 out. 2025, de <https://ggos.org/item/sea-surface-heights/>
- Giehl, S. (2020). *Determinação de movimentos verticais da crosta por meio da integração de observações maregráficas e da altimetria por satélite no datum vertical brasileiro de Imbituba no período de 2002 a 2015* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná].
- Giehl, S., Dalazoana, R., & Santana, T. (2022). Comparação absoluta entre observações do satélite Sentinel-3A e dos marégrafos da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74(4).
- Godin, G. (1972). *The analysis of tides*. Liverpool: University Press.

- Hwang, C. W., Hsu, H.-Y., & Jang, R.-J. (2002). Global mean sea surface and marine gravity anomaly from multi-satellite altimetry: Applications of deflection-geoid and inverse Vening Meinesz formulae. *Journal of Geodesy*, 76(8), 407–418.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2015). *Correlação dos níveis de referência – Estação da RMPG em Macaé*. Acessado em 13 fev. 2025, de https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%20de%20referencia/Macaee/2015_niveis_referencia_rmpg_macaee.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2016). *Análise do nível médio do mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG 2001/2015*. Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019). *Correlação dos níveis de referência – Estação da RMPG em Salvador*. Acessado em 13 fev. 2025, de https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%20de%20referencia/Salvador/2019_niveis_referencia_rmpg_salvador.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023a). *Correlação dos níveis de referência – Estação da RMPG em Imbituba*. Acessado em 13 fev. 2025, de https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%20de%20referencia/Imbituba/2023_niveis_referencia_rmpg_imbituba.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023b). *Correlação dos níveis de referência – Estação da RMPG em Fortaleza*. Acessado em 13 fev. 2025, de https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%20de%20referencia/Fortaleza/2023_niveis_referencia_rmpg_fortaleza.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2025). *Rede Maregráfica Permanente para Geodésia*. Acessado em 13 fev. 2025, de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html?=&t=observacao-do-nivel-do-marrmpg>
- ICGEM. (2025). *Calculation of Gravity Field Functionals on User-Defined Points*. Acessado em 25 out. 2025, de <https://icgem.gfz-potsdam.de/calcpoints>
- Jiang, L., Nielsen, K., & Andersen, O. B. (2023). Improvements in mountain lake monitoring from satellite altimetry over the past 30 years – Lessons learned from Tibetan lakes. *Remote Sensing of Environment*, 295, 113702.
- Kelley, D. E. (2018). *The OCE package: Oceanographic analysis with R* (pp. 91–101).
- Liebsch, G., Novotny, K., Dietrich, R., & Shum, C. K. (2002). Comparison of multimission altimetric sea-surface heights with tide gauge observations in the southern Baltic Sea. *Marine Geodesy*, 25(3), 213–234. <https://doi.org/10.1080/01490410290051545>
- Lu, Z., Qu, Y., & Qiao, S. (2014). Geodetic datum and geodetic control networks. In *Geodesy: Introduction to geodetic datum and geodetic systems* (pp. 71–130). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mitchum, G. T. (1998). Monitoring the stability of satellite altimeters with tide gauges. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3), 721–730.
- Mitchum, G. T. (1994). Comparison of TOPEX sea surface heights and tide gauge sea levels. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C12), 24541–24553.
- Montecino, H. D. C., Ferreira, V. G., Cuevas, A., Cabrera, L. C., Báez, J. C. S., & De Freitas, S. R. C. (2017). Vertical deformation and sea level changes in the coast of Chile by satellite altimetry and tide gauges. *International Journal of Remote Sensing*, 38(24), 7551–7565. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1288306>
- Moritz, H. (2000). Geodetic reference system 1980. *Journal of Geodesy*, 74(1), 128–133. <https://doi.org/10.1007/s001900050278>
- Morrow, R., et al. (2019). Global observations of fine-scale ocean surface topography with the surface water and ocean topography (SWOT) mission. *Frontiers in Marine Science*, 6, 232.

- Pawlowicz, R., Beardsley, B & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*, Elsevier BV, v. 28, n. 8, 929–937. DOI: 10.1016/s0098-3004(02)00013-4.
- Pandžić, K., Likso, T., Biondić, R., & Biondić, B. (2024). A review of the contribution of satellite altimetry and tide gauge data to evaluate sea level trends in the Adriatic Sea within a Mediterranean and global context. *GeoHazards*, 5, 112–141. <https://doi.org/10.3390/geohazards5010006>
- Renganathan, V. (2010). *Arctic sea ice freeboard heights from satellite altimetry* [Tese de Doutorado, Department of Geomatics Engineering – University of Calgary].
- Sánchez, L. E. (2020). Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. Oficina de textos.
- Shimakura, S. E. (2006). *Interpretação do coeficiente de correlação*. LEG, UFPR.
- Srinivasan, M., & Tsontos, V. (2023). Satellite altimetry for ocean and coastal applications: A review. *Remote Sensing*, 15(16), 3939.
- Stammer, D., & Cazenave, A. (Eds.). (2017). *Satellite altimetry over oceans and land surfaces*. CRC Press.
- Thompson, R. O. (1983). Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies. *Journal of Physical Oceanography*, 13, 1077–1083.

Contribuição dos Autores

A autora L. S. foi responsável pela conceptualização, investigação da pesquisa, processamento dos dados, redigiu a minuta inicial e realizou revisões e edições. A autora R. D. auxiliou na definição da ideia e em revisões e supervisões deste artigo.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Biografia do autor principal



Larissa Souza nasceu em Vitória-ES, em 1993. Coursou Engenharia de Agrimensura e Cartográfica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2012-2018). Fez mestrado acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa, com ênfase em Geodésia (2019-2021). Atualmente faz doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas na Universidade Federal do Paraná e atua no meio profissional nas áreas de Geodésia e Hidrografia. Tem interesse nos seguintes temas: Integração de dados maregráficos e altimetria por satélite; Sistemas de monitoramento do planeta Terra; Referenciais verticais; e Monitoramento do Nível do Mar.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.